

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Oktober 2004 (07.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/086595 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02K 41/03**,
F16C 33/04

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003086

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. März 2004 (23.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 14 133.2 24. März 2003 (24.03.2003) DE
103 23 629.5 20. Mai 2003 (20.05.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN**
[DE/DE]; Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LEHR, Heinz**
[DE/DE]; Wiesbadener Strasse 18, 14197 Berlin (DE).
SCHRADER, Stephan [DE/DE]; Auguststrasse 91,
10117 Berlin (DE). **WALTER, Steffen** [DE/DE]; Jessen-
erstrasse 66, 10247 Berlin (DE).

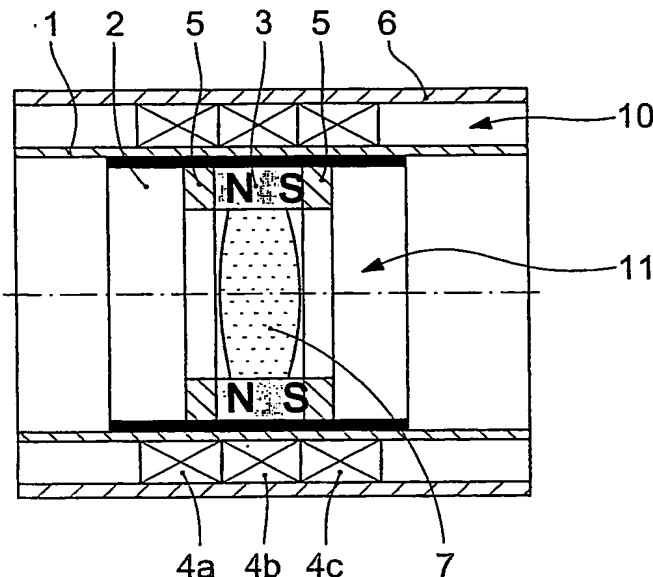
(74) Anwalt: **EISENFÜHR, SPEISER & PARTNER**; Ana-
Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: GLIDING FIELD LINEAR MOTOR

(54) Bezeichnung: WANDERFELD-LINEARMOTOR



(57) Abstract: The invention relates to a three-phase linear synchronous motor comprising a rotor with a central axial borehole in which optical elements, e.g. an optical lens, can be mounted. Said rotor consists of a slide bush containing a permanent magnet which is polarised in the axial direction and has a free central passage. The rotor is guided in a fixed cladding tube and is displaced by means of interaction between the permanent magnet and a magnetic gliding field moved along the optical axis. The gliding field is created by at least three adjacent fixed stator coils which are wound around the cladding tube and have a separate and variable current supply. The position of the rotor is established by latching forces of the permanent magnet in the magnetic field of the coils. The magnetic gliding field and therefore also the rotor can be displaced in an axially arbitrarily precise manner. The displacement path of the rotor can be any length according to the number of coils. The system is suitable for the miniaturisation of optical systems.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen dreiphasigen linearen Synchronmotor, der einen Läufer mit zentraler, axialer Bohrung aufweist, in die optische

Elemente - z.B. eine optische Linse - eingebaut werden können. Der Läufer besteht aus einer Gleithülse, in der sich ein in axialer Richtung polarisierter Permanentmagnet mit freiem Mitteldurchgang befindet. Die Führung des Läufers erfolgt in einem ortsfesten Hüllrohr. Der Läufer wird durch Wechselwirkung des Permanentmagneten mit einem entlang der optischen Achse bewegten magnetischen Wanderfeld verschoben. Das Wanderfeld entsteht durch mindestens drei nebeneinanderliegende, um das Hüllrohr gewickelte, ortsfeste Statorspulen mit separater und variabler Bestromung. Die Position des Läufers wird durch Selbsthaltekräfte des Permanentmagneten im Magnetfeld der Spulen festgelegt. Das magnetische Wanderfeld und somit auch der Läufer sind axial beliebig fein verschiebbar. Die Verfahrstrecke des Läufers kann je nach Anzahl der Spulen beliebig lang gestaltet werden. Das System ist zur Miniaturisierung von optischen Systemen geeignet.

WO 2004/086595 A1

München
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Phys. Heinz Nöth
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritzsche
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl
Dipl.-Ing. Olaf Ungerer
Patentanwalt
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

Alicante
European Trademark Attorney
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Berlin
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Henning Christiansen
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen
Dipl.-Ing. Jutta Kaden
Dipl.-Phys. Dr. Ludger Eckey

Spreepalais am Dom
Anna-Louisa-Karsch-Strasse 2
D-10178 Berlin
Tel. +49-(0)30-8418 870
Fax +49-(0)30-8418 8777
Fax +49-(0)30-8418 8778
mail@eisenfuhr.com
http://www.eisenfuhr.com

Bremen
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser
Dr.-Ing. Werner W. Rabus
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken
Jochen Ehlers
Dipl.-Ing. Mark Andres
Dipl.-Chem. Dr. Uwe Stilkenböhmer
Dipl.-Ing. Stephan Keck
Dipl.-Ing. Johannes M. B. Wasiljeff
Dipl.-biotechnol. Heiko Sendrowski

Rechtsanwälte
Ulrich H. Sander
Christian Spintig
Sabine Richter
Harald A. Förster

Hamburg
Patentanwalt
European Patent Attorney
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte
Rainer Böhm
Nicol Ehlers, LL.M.

Berlin, 23. März 2004
Unser Zeichen: TB 1029-03WO JVO/shi
Durchwahl: 030/841 887-0

Anmelder/Inhaber: TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Wanderfeld-Linearmotor

Die Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Wanderfeld-Linearmotor, der eine Magnetspulenordnung sowie einen relativ zur Magnetspulenordnung linear beweglichen Permanentmagneten aufweist. Die Magnetspulenordnung umfasst dabei wenigstens drei Magnetspulen, die so ausgebildet und angeordnet sind, dass ein magnetisches Wanderfeld zum positionsgenauen

5 Bewegen des Permanentmagneten zu erzeugen ist.

Außerdem betrifft die Erfindung einen Antrieb für optische Elemente wie beispielsweise Linsen, Prismen, Spiegel, Blenden, CCD-Chips usw.

Insbesondere die Miniaturisierung von optischen Systemen, die motorisch

10 verschiebbare optische Elemente enthalten (Linse, Prisma, Spiegel, Blende, CCD-Chip, etc.), erfordert die Entwicklung besonderer Antriebstechniken.

Hierbei sind eine Reihe optischer Anforderungen einzuhalten, beispielsweise eine gute Positionierbarkeit, eine beliebig lange Verfahrstrecke des zu bewegendes optischen Elements, eine individuelle Verschiebung von mehreren optischen Komponenten mit überschneidenden Verfahrwegen, Freihalten des Strahlengangs in allen Stellungen des optischen Elements, etc.

Aus dem US-Patent 5 490 015 ist ein piezoelektrischer Stellantrieb zur Bewegung einer Fokussierlinse bekannt. Dabei wird ein piezoelektrischer Stapelaktor impulsförmig erregt, wodurch sich die mit dem Aktor verbundene Fokussierlinsehalterung kurzzeitig bewegt. Längere Stellwege lassen sich durch eine zeitliche Abfolge von Spannungsimpulsen erzielen. Allerdings führen der einseitige Krafteingriff des Aktors sowie dessen impulsartige Betätigung zu einer longitudinalen Ruckbewegung, deren Amplitude empfindlich von der örtlichen Haftreibung bestimmt wird, so dass Verstellgeschwindigkeit und Stellgenauigkeit begrenzt sind. Störend sind auch die zur Betätigung des Aktors notwendigen hohen Spannungsimpulse, die z. B. das Videobild beeinträchtigen. Insgesamt erschwert die Ausführung dieses Aktors die Verstellung mehrerer Linsengruppen, behindert die Miniaturisierung der gesamten Anordnung und ist wegen der Piezoaktuatorik bei Temperaturen über 100 °C (z. B. Sterilisation medizinischer Instrumente bei 133 °C, Überwachung von Schweißvorgängen usw.) nur schwer einsetzbar.

Zur Ansteuerung eines Zoomobjektivs sind aus der DE 43 12 489 A 1 beispielsweise motorische Antriebssysteme bekannt, die zur Kraftübertragung vom Motor auf die Halterung des Zoomobjektivs Ritzel, Zahnräder und Helixführungen einsetzen. Allerdings wird der Einsatz solcher Elemente offensichtlich eine Miniaturisierung optischer Instrumente erschweren.

Aus der DE 199 27 129 C 1 sind streifenförmige piezoelektrische Biegeaktoren bekannt, die zur Verstellung einer Fokussierlinse dienen. Dabei bewegen sich die streifenförmigen bimorphen Piezoaktoren bei Anlegen einer Spannung orthogonal zur Verstellrichtung der Fokussierlinse. Gelenkglieder zwischen der Fokussierlinse sowie den Piezostreifen besorgen schließlich die

Bewegung der Fokussierlinse entlang der optischen Achse des Linsensystems. Dem Vorteil der kontinuierlichen haftreibungsfreien Bewegung stehen allerdings die Nachteile eines erheblichen, den Durchmesser vergrößernden Platzbedarfs des Antriebssystems sowie dessen beschränkter Stellbereich
5 gegenüber.

Aus der DE 199 27 129 C 1 ist gleichermaßen die Bewegung eines Zoomobjektivs durch einen Schrittmotor bekannt. Allerdings befindet sich der Motor nicht in der Längsachse des Linsensystems, so dass der gesamte Durchmesser erheblich vergrößert wird.

10 Aus der Offenlegungsschrift DE 196 18 355 A 1 ist ein elektrodynamischer Antrieb bekannt, der aus einer permanentmagnetischen Hülse besteht, die in einem Hüllrohr gleitet und bei Bestromung zweier gegenläufig gewickelter Solenoide durch Lorentzkräfte bewegt wird (Tauchspulenprinzip). Allerdings weist dieser Aktor, der bei Endoskopen eingesetzt werden soll, einige Nachteile
15 auf: Bei Bestromung der Solenoide fährt der Permanentmagnet an eine Endposition, die durch die Länge des Magneten und die gegenläufig gewickelten Solenoide festgelegt ist. Da der Aktor über keine natürliche Haltestellung sowie keine Selbsthaltung verfügt, lässt sich die Positionierung von Linsen oder Linsengruppen sowie die Fixierung ihrer Position, z. B. beim Auftreten
20 von Beschleunigungskräften, durch einen Regelkreis erzielen, wobei eine Wegmessung, wie sie in der DE 196 05 413 A 1 beschrieben ist, erforderlich wird. Alternativ hierzu wäre zur Positionierung die Bewegung gegen eine Federkraft denkbar, die dann jedoch zusätzlichen Platz beansprucht. In beiden Fällen steigt aber der Aufwand erheblich. Der mögliche Verfahrensweg des Magneten wird durch die Länge der gesamten magnetischen Anordnung festgelegt.
25 Will man bei einem Motor auf Tauchspulenbasis große Verfahrenswege realisieren, so ist dies nur durch eine entsprechende magnetische Länge des Läufers sowie mindestens doppelt so lange Solenoidspulen erreichbar. Dies kann aufgrund der Zunahme der axialen Länge der schmalen Bohrung des Läufers zu einer Beeinträchtigung des optischen Strahlengangs führen. Weiterhin wird durch lange Solenoide der Einsatz mehrerer unabhängiger, axial in
30

Reihe angeordneter und angetriebener optischer Elemente problematisch. Die Pole des Läufers können sich nicht über die zugeordneten Spulen hinausbewegen. Dadurch ist das Verfahren von einem Läufer in das Spulensystem eines anderen Läufers sowie überlappende Verfahrstrecken verschiedener Läufer gänzlich unmöglich. Hieraus ergeben sich wesentliche Einschränkungen bei der Gestaltung des optischen Systems.

Aus der GB 2 358 967 ist ein Linearmotor mit einem Läufer bekannt, der eine zentrale Öffnung besitzt und sich in einem rohrartigen Stator bewegen kann.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen möglichst kleinen, einfachen und positionsgenauen Antrieb der eingangs genannten Art zu schaffen. Im Falle eines Antriebs für optische Elemente soll die Positionierung optischer Elemente beliebig flexibel erfolgen können und die gesamte Einheit so weit miniaturisierbar sein, dass Durchmesser im Bereich weniger Millimeter erreichbar sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen elektromagnetischen Wandlerfeld-Linearmotor der eingangs genannten Art erreicht, bei dem die Magnetspulen um einen längsgestreckten Hohlraum gewundene, geschlossene Leiterdrahtwicklungen aufweisen und der Permanentmagnet axial polarisiert und im Inneren einer Gleithülse angeordnet ist und die Gleithülse in dem Hohlraums längs beweglich geführt ist.

Wenigstens Teile einer Außenoberfläche der Gleithülse und wenigstens Teile einer Innenwand des längsgestreckten Hohlkörpers sind als Gleitflächen ausgebildet und Wirken im Sinne eines Gleitlagers zusammen.

Neben einem längsgestreckten Hohlraum in Form eines Rohres mit Kreisquerschnitt und einer zylinderwandförmigen Gleithülse sind aus Ausführungsvarianten denkbar, in denen die Gleitflächen des Hohlkörpers und/oder der gleithülse beispielsweise streifenförmig ausgebildet sind und in Längsrichtung des Hohlkörpers bzw. der Gleithülse verlaufen. Ebenso können der Hohlraum

oder die Gleithülse eine Querschnittsgeometrie oder Führungsnuten und entsprechende, in die Führungsnut eingreifende Vorsprünge am jeweils anderen Bauteil aufweisen.

5 Vorzugsweise sind die Gleitflächen des längsgestreckten Hohlraums und der Gleithülse zur Minimierung von Reibung und Verschleiß poliert und können zusätzlich mit einem Hartstoff (wie Si_3N_4 , SiC oder diamantähnlichem Kohlenstoff, kurz DLC) beschichtet sein.

10 Indem die Wicklungen der Magnetspulen vollständig um den Hohlraum gewunden sind, ist ein besonders einfacher und kleiner Aufbau des Linearmotors möglich. Das ortsveränderliche magnetische Wanderfeld bewegt den Permanentmagneten, der beispielsweise mit ebenfalls in der Gleithülse positionierten optischen Elementen verbunden sein kann. Auf diese Weise ergibt sich ein besonders kleiner positionsgenauer Linearantrieb für optische Elemente.

15 In einer bevorzugten Ausführungsvariante sind an beiden Längsenden des Permanentmagneten weichmagnetische Läuferpolschuhe angeordnet. Außerdem ist in einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante ein weichmagnetisches Außenrohr vorgesehen, welches den Hohlraum umschließt und in dem die Leiterdrahtwicklungen untergebracht sind. Diese beiden Maßnahmen tragen jeweils separat zu einer effizienten Nutzung des durch die
20 Magnetspulenordnung erzeugten elektromagnetischen Wanderfeldes bei.

Schließlich ist vorzugsweise eine in dem Hüllrohr axial beweglich geführte Gleithülse vorgesehen, in deren Inneren die Permanentmagneten derart angeordnet ist, dass die Permanentmagneten einen Hohlraum einschließen, in dem beispielsweise optische Elemente in Form von Linsen angeordnet sein
25 können.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsvariante umfasst einen dreiphasigen linearen Synchronmotor der in Anspruch 1 genannten Art, der eine axiale Verschiebung von optischen Elementen entlang seiner Achse bewirkt. Sein Auf-

bau erlaubt eine Miniaturisierung des optischen Systems und bewahrt dabei eine große Flexibilität bei der Auslegung der Optik.

Konkret ist ein elektromagnetischer Wanderfeldmotor zur Bewegung optischer Elemente in einem Hüllrohr vorgesehen, bei dem der Motor eine axial bewegliche Gleithülse aufweist, die in dem Hüllrohr gleitet und mindestens einen axial polarisierten Permanentmagneten sowie optische Elemente aufnimmt. Außerdem ist eine Anordnung von mindestens drei Spulen vorgesehen, die um das Hüllrohr geschlungen sind und durch unabhängige, variable Bestromung ein magnetisches Wanderfeld erzeugen können, das durch einen magnetischen Rückfluss über ein weichmagnetisches Außenrohr und weichmagnetische Läuferpolschuhe konzentriert geführt und verstärkt wird. Das dreiphasige Wanderfeld dient zur axialen Bewegung des Permanentmagneten und der mit diesem verbundenen Gleithülse. Das Wanderfeld erzeugt durch Wechselwirkung mit dem Permanentmagneten Selbsthaltekräfte, die zur Festigung des Läuferorts sowie zur Positionsstabilisierung der optischen Elemente durch rücktreibende Kräfte führen.

Diese Anordnung stellt einen elektromagnetischen Wanderfeldmotor dar, der vom Prinzip her als dreiphasiger linearer Synchronmotor aufgefasst werden kann. Dieser dient zur kontinuierlichen Verschiebung einzelner Linsen, Linsengruppen oder anderer optischer Elemente (beispielsweise Prismen, Spiegel, Blenden, CCD-Chips, etc.) und eignet sich insbesondere für miniaturisierte optische Instrumente wie z.B. Endoskope. Typische Aufgaben des Motors sind das Vergrößern oder Verkleinern eines Bilds in einer Bildebene durch Bewegen eines Zoomobjektivs, Bewegen eines Bildaufnehmers oder das Einstellen der Bildschärfe durch Verschieben einer Fokussierlinse.

Hierzu gleitet pro Stellelement eine dünnwandige Gleithülse, in der sich ein in axialer Richtung polarisierter Permanentmagnet mit freiem Mitteldurchgang befindet, als Läufer in einem ortsfesten Hüllrohr. Die Gleithülse dient zur Aufnahme und Zentrierung des Permanentmagneten sowie der optischen Elemente. Sie wird durch Wechselwirkung des Permanentmagneten mit einem

entlang der optischen Achse gerichteten magnetischen Wanderfeld bewegt, das durch mindestens drei nebeneinanderliegende und um das Hüllrohr gewickelte ortsfeste Spulen mit separater und variabler Bestromung entsteht. Die Position des Läufers wird durch Selbsthaltekräfte des Permanentmagneten im
5 Magnetfeld der Spulen festgelegt, so dass keinerlei Wegmeßsystem erforderlich ist. Die Selbsthaltung ist insbesondere bei fest eingestellter Position der optischen Elemente vorteilhaft, da sie eine Fehljustage der Linsen oder Objektive durch eine ruckweise Bewegung des Instruments oder infolge der Schwerkraft verhindert. Weiterhin gelingt eine sehr präzise Einstellung der
10 Position, da der Einfluss der Haftreibung durch kurzzeitige Erhöhung der Stromstärke beliebig reduzierbar ist. Aufgrund der Spulenanordnung und dem resultierenden Magnetfeld ist die longitudinale Abmessung des Permanentmagneten gering, so dass der optische Strahlengang kaum beeinträchtigt wird.

15 In einer bevorzugten Ausführungsvariante erlauben es weitere nebeneinander angebrachte Dreiergruppen von Spulen, den Fahrweg des Permanentmagneten, im Gegensatz zum Tauchspulenprinzip, beliebig weit zu gestalten. Hierfür ist keinerlei zusätzliche Längenänderung des Permanentmagneten erforderlich, wodurch alle Freiheitsgrade zur Gestaltung optischer Systeme
20 erhalten bleiben und insbesondere die unabhängige Verschiebung verschiedener Linsen oder Linsengruppen eines optischen Systems durch mehrere Aktoren ermöglicht wird.

Optische Instrumente wie Endoskope, Videokameras für die Mikromontage und zur Überwachung müssen einen möglichst geringen Durchmesser auf-
25 weisen. Ziel muss es daher sein, eine Miniaturisierung des gesamten optischen Systems einschließlich der Aktorik für die Linsenverstellung zu erreichen. Dies wird durch den erfindungsgemäßen feldgeführten permanentmagnetischen Wanderfeldmotor erreicht. Er lässt sich platzsparend und bis zu wenigen Millimeter im Durchmesser ausführen, wobei die Positioniergenauig-
30 keit im Mikrometerbereich liegt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Zeichnungen und darin dargestellten Ausführungsbeispielen beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: Schnittzeichnung des dreiphasigen linearen Synchronmotors.

5 Fig. 2: Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch mit drei Spulensystemen mit je drei Spulen (4a,b,c) zur Verlängerung des Fahrwegs.

Fig. 3: Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch mit dreipoligem Läufer (11).

Fig. 4: Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch ohne Gleithülse (2).

10 Fig. 5: Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch mit weichmagnetischen Statorpolschuhen (8) zwischen den Spulen (4) zur Führung des magnetischen Flusses.

Fig. 6: Zwei getrennt voneinander ansteuerbare Läufer (11 und 12) mit überlappenden Verfahrwegen in einem Spulensystem.

15 Fig. 7: Axialer Verlauf der resultierenden Axialkraft (F) als Funktion des Wegs (x) für zwei unterschiedliche Phasensteuerungen.

Fig. 8: Bestromung (I) der drei Spulen (a, b, c) in Abhängigkeit des Ortes (x).

20 In Fig. 1 ist anhand einer Schnittzeichnung der grundsätzliche Aufbau des dreiphasigen linearen Synchronmotors gemäß Anspruch 1 dargestellt. Gezeigt wird ein ortsfester Stator (10), der aus einem Hüllrohr (1), drei um das Hüllrohr gewickelten Spulen (4a, b, c) und einem Außenrohr (6) zusammengesetzt ist. Das Hüllrohr (1) des Stators (10) dient zur Führung des axial verschiebbaren Läufers (11), der von einer Gleithülse (2) gebildet ist sowie von einem innerhalb der Gleithülse befestigten axial magnetisierten Permanentmagneten (3)

mit freiem Mitteldurchgang. In diesem ist in dem Ausführungsbeispiel ein optisches Element eingebettet, beispielsweise eine Linse (7).

Ein das Bewegen und Positionieren des Läufers (11) bewirkendes Magnetfeld ergibt sich aus der Überlagerung des Magnetfeldes des Permanentmagneten (3) und der stromdurchflossenen Spulen (4a, b, c), die variabel und unabhängig voneinander, jedoch stets in einem vorgegebenen Verhältnis zueinander (Fig. 8), bestromt werden können. Zur Führung des magnetischen Flusses dienen die am Permanentmagneten angebrachten Läuferpolschuhe (5) und das Außenrohr (6), die beide aus weichmagnetischen Materialien bestehen.

Der Magnet (3) wird zur Miniaturisierung vorzugsweise aus permanentmagnetischen Materialien mit höchsten Energiedichten wie beispielsweise Neodym-Eisen-Bor oder Samarium-Kobalt hergestellt. Das Hüllrohr (1) und die Gleithülse (2) dienen einzig der Führung des Läufers (11) im Stator (10) und sollen das Magnetfeld nicht beeinflussen. Sie bestehen daher aus nichtferromagnetischem Material wie beispielsweise Chrom-Nickel-Stahl oder Kupfer-Beryllium. Zur Minimierung von Reibung und Verschleiß sind die Gleitflächen (auch als Laufflächen bezeichnet) des Hüllrohrs (1) und der Gleithülse (2) poliert und können zusätzlich mit einem Hartstoff (wie Si_3N_4 , SiC oder diamantähnlichem Kohlenstoff, kurz DLC) beschichtet sein. Der dargestellte Aufbau kann zu folgenden Varianten modifiziert werden, die auch untereinander kombinierbar sind:

(I) Fig. 2: gezeigt ist der Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch mit drei Spulensystemen mit je drei Spulen (4a, b, c), wobei jede vierte Spule die gleiche Bestromung erfährt. Die Strecke, in der der Läufer (11) aktiv verschoben wird, ist im Vergleich zu Fig. 1 verdreifacht. Auf diese Weise kann die aktive Verfahrstrecke gemäß Anspruch 2 beliebig verlängert werden, wobei eine gleichzeitige axiale Verlängerung des Läufers (11) nicht erforderlich ist. Der Läufer (11) kann kontinuierlich und mit konstanter axialer Antriebskraft durch alle Spulensystem hindurch verschoben werden.

(II) Fig. 3 zeigt einen Wanderfeldmotor der zuvor beschriebenen Art, bei dem zwei Permanentmagnete des Läufers gegensinnig angeordnet sind. Dies hat den Vorteil, dass zusätzliche Spulen (bei mehr als drei Spulen) von einem magnetischen Fluss durchflossen werden, die eine zusätzliche Lorenzkraft erzeugen. Damit nimmt die maximale Antriebskraft und die Steifigkeit bei gleicher elektrischer Leistung zu. Im Prinzip kann der Läufer beliebig viele Pole (≥ 2) haben.

(III) Fig. 4: gezeigt ist der Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch ohne Gleithülse (2). Durch diesen Verzicht lässt sich radialer Bauraum gewinnen. In diesem Fall dienen die Mantelflächen der Polschuhe, des Permanentmagneten oder beider Komponenten als Lauf- oder Gleitflächen, die zur Minimierung von Reibung und Verschleiß mit Hartstoff beschichtet sein können.

(IV) Fig. 5: gezeigt ist der Linearantrieb entsprechend Fig. 1 jedoch mit ringförmigen, weichmagnetischen Statorpolschuhen (8) zwischen den Spulen (4) zur Führung des magnetischen Flusses. Daraus ergeben sich gemäß Anspruch 10 im Vergleich zu der Luftspulenanordnung (Fig. 1) höhere Stellkräfte. Die Axialkraft ist aber ortsabhängig und kann je nach Auslegung zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Rastkraft führen.

(V) Fig. 6: beispielhafte Darstellung, wie gemäß Anspruch 3 zwei Läufer (11 und 12) mit überlappenden Verfahrstrecken getrennt voneinander verschoben werden können. Der dargestellte Stator (10) entspricht Fig. 2, die beiden Läufer (11 und 12) entsprechen Fig. 1. Im oberen Teil (A) von Fig. 5 wird der Läufer (11) von den zwei Spulensystemen (4) bewegt, während ein davon unabhängig bestromtes Spulensystem (9) auf den Läufer (12) einwirkt. Wird nun die mittlere Dreiergruppe von Spulen an das System (9) angeschlossen (untere Teilabbildung B), so kann der Läufer (12) in den Bereich verfahren werden, in dem vorher Läufer (11) mit dem Spulensystem (4) bewegt wurde. Vor dem Umschalten der Bestromung des mittleren Dreierspulenpakets sollte der Läufer (11) aus dem

mittleren Spülensystems herausgefahren werden, da er ansonsten – gemeinsam mit dem Läufer (12) – von dem System (9) angesprochen wird.

Fig. 7 zeigt den Verlauf der resultierenden Axialkraft (F) eines gattungsgemäßen Wanderfeldmotors in der Ausführung mit Luftspulen (gemäß Fig. 1 bis Fig. 4) als Funktion des Wegs (x) (durchgezogene Linie). Der Nulldurchgang der Axialkraft ($P1$) legt die jeweilige Sollposition des Permanentmagneten (3) und damit der Gleithülse (2) fest. Die Steigung an dieser Stelle führt zu rücktreibenden Kräften. Eine Erhöhung der Stromamplituden ergibt eine größere Steigung und größere Rückstellkräfte. Der Nulldurchgang der gestrichenen Linie ($P2$) zeigt eine neue Sollposition bei Fortschreiten des Wanderfelds durch geänderte relative Stromamplituden der Spulen (4). Dabei kann die Sollposition beliebig genau vorgegeben werden.

In Fig. 8 ist die Bestromung (I) der drei Spulen (a, b, c) in Abhängigkeit des Phasenwinkels bzw. des Ortes (x) dargestellt. Die Ströme in einem dreiphasigen Drehfeld sind um jeweils 120° phasenversetzt. Durch die Bestromung ergibt sich – unter Einhaltung dieser Phasenbeziehung – ein resultierendes Magnetfeld, dessen örtliche Verteilung innerhalb des Stators (10) von dem absoluten Phasenwinkel (entspricht der x -Achse) der drei Ströme abhängig ist. Da der absolute Phasenwinkel der Ströme beliebig genau wählbar ist, kann auch die Lage des Magnetfeldes und somit die Position des Läufers (x) beliebig fein vorgegeben werden.

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Wanderfeld-Linearmotor mit einer Magnetspulen-
anordnung (4) und einem relativ zur Magnetspulenordnung (4) linear
beweglichen Permanentmagneten (3), wobei die Magnetspulenord-
nung (4) wenigstens drei Magnetspulen (4a, 4b, 4c) umfasst, die ausge-
bildet und angeordnet sind, ein magnetisches Wanderfeld zum positi-
onsgenauen Bewegen des Permanentmagneten (3) zu erzeugen, wobei
die Magnetspulen (4a, 4b, 4c) um einen längsgestreckten Hohlraum ge-
wundene, geschlossene Leiterdrahtwicklungen aufweisen und der Per-
manentmagnet (3) axial polarisiert und im Inneren des Hohlraum längs-
beweglich geführt ist, gekennzeichnet durch eine in dem Hüllrohr (1) a-
xial beweglich geführte Gleithülse (2), die einen Innenraum einschließt,
in dem der Permanentmagnet (3) angeordnet ist, wobei eine äußere
Mantelfläche der Gleithülse (2) und wenigstens ein Teil der Innenwand-
oberfläche des Hüllrohrs Gleitflächen bilden, die im Sinne eines Gleitla-
gers zusammenwirken.
2. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 1, dadurch ge-
kennzeichnet, dass die Gleitflächen von Gleithülse (2) oder Hüllrohr (3)
oder beiden mit Hartstoffschichten wie Si_3N_4 , SiC oder DLC (diamant-
ähnlichem Kohlenstoff) bedeckt sind, um die Reibung und den Ver-
schleiß zu reduzieren.
3. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, dass am Permanentmagneten (3) weichmagnetische
Läuferpolschuhe (5) zur Führung des magnetischen Flusses angebracht
sind.
4. Wanderfeld-Linearmotor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
dass die weichmagnetischen Läuferpolschuhe (5) an beiden Längsen-
den des Permanentmagneten (3) angeordnet sind.

5. Wanderfeld-Linearmotor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein nicht ferromagnetisches Hüllrohr (1), welches den Hohlraum umschließt und um welches die Leiterdrahtwicklungen gewickelt sind.
- 5 6. Wanderfeld-Linearmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch ein weichmagnetisches Außenrohr (6), welches die Magnetspulenordnung (4) umschließt.
7. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der axial magnetisierte Permanentmagnet (3) eine beliebige geometrische Gestaltung mit einer axialen Bohrung für einen optischen Strahlengang aufweist.
- 10 8. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der axial magnetisierte Permanentmagnet (3) ringförmig ausgebildet ist.
9. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass weichmagnetische Statorpolschuhe (8) zwischen den einzelnen Spulen (4) angebracht sind, um die resultierende Axialkraft zu erhöhen.
- 15 10. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Läufer (11) gleicher Bauart durch getrennte Bestromung verschiedener, axial versetzter Dreierspulen-
20 lengruppen, individuell in einem gemeinsamen Hüllrohr (1) verfahrbar angeordnet sind.
11. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfahrwege der unterschiedlichen Läufer (11)
25 durch Umschalten der Spulenbestromung überlappend sind.

- 5 12. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor zur Bewegung optischer Elemente in einem Hüllrohr (1), dadurch gekennzeichnet, dass der Motor eine axial bewegliche Gleithülse (2) aufweist, die in einem Hüllrohr (1) gleitend geführt ist und zusammen mit mindestens einem im Inneren der Gleithülse angeordneten, axial polarisierten Permanentmagnet (3) einen Läufer (11) bildet, wobei der Motor weiterhin eine Anordnung von mindestens drei Spulen (4) aufweist, die um das Hüllrohr (1) geschlungen sind und durch unabhängige, variable Bestromung ein magnetisches Wanderfeld erzeugen können, das durch einen magnetischen Rückfluss über das weichmagnetische Außenrohr (6) und die weichmagnetischen Läuferpolschuhe (5) konzentriert geführt und verstärkt wird, wobei das dreiphasige Wanderfeld zur axialen Bewegung des Permanentmagneten (3) und damit der Gleithülse (2) dient und durch Wechselwirkung mit dem Permanentmagneten (3) Selbsthaltekräfte erzeugt, die zur Festlegung des Läuferorts sowie zur Positionsstabilisierung der optischen Elemente (7) durch rücktreibende Kräfte führen.
- 10
13. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch eine Aneinanderreihung weiterer Dreiergruppen von Spulen (4a,b,c) auf dem Hüllrohr (1) derart, dass der Fahrweg des Läufers (11) verlängert ist, ohne dass dazu die axiale Länge des Läufers (11) geändert werden muss.
- 15
14. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 12 dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer aus mehreren Segmenten von axial magnetisierten Permanentmagneten besteht, deren Polarität jeweils gegenseitig angeordnet ist.
- 20
15. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 12 bis 14, gekennzeichnet durch wenigstens ein optisches Element, das an dem Läufer (11) befestigt ist.
- 25

16. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element innerhalb der Gleithülse (2) angeordnet ist.
- 5 17. Elektromagnetischer Wanderfeldmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Wanderfeldmotor ausgebildet ist, zwecks Sterilisation ohne Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit mehrere Stunden einer Temperatur von mindestens 133 °C ausgesetzt zu werden.

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen dreiphasigen linearen Synchronmotor, der einen Läufer mit zentraler, axialer Bohrung aufweist, in die optische Elemente – z.B. eine optische Linse – eingebaut werden können. Der Läufer besteht aus einer
5 Gleithülse, in der sich ein in axialer Richtung polarisierter Permanentmagnet mit freiem Mitteldurchgang befindet. Die Führung des Läufers erfolgt in einem ortsfesten Hüllrohr. Der Läufer wird durch Wechselwirkung des Permanentmagneten mit einem entlang der optischen Achse bewegten magnetischen Wanderfeld verschoben. Das Wanderfeld entsteht durch mindestens drei ne-
10 beneinanderliegende, um das Hüllrohr gewickelte, ortsfeste Statorspulen mit separater und variabler Bestromung. Die Position des Läufers wird durch Selbsthaltekräfte des Permanentmagneten im Magnetfeld der Spulen festgelegt. Das magnetische Wanderfeld und somit auch der Läufer sind axial beliebig fein verschiebbar. Die Verfahrstrecke des Läufers kann je nach Anzahl der
15 Spulen beliebig lang gestaltet werden. Das System ist zur Miniaturisierung von optischen Systemen geeignet.

(Fig. 1)

Fig. 1

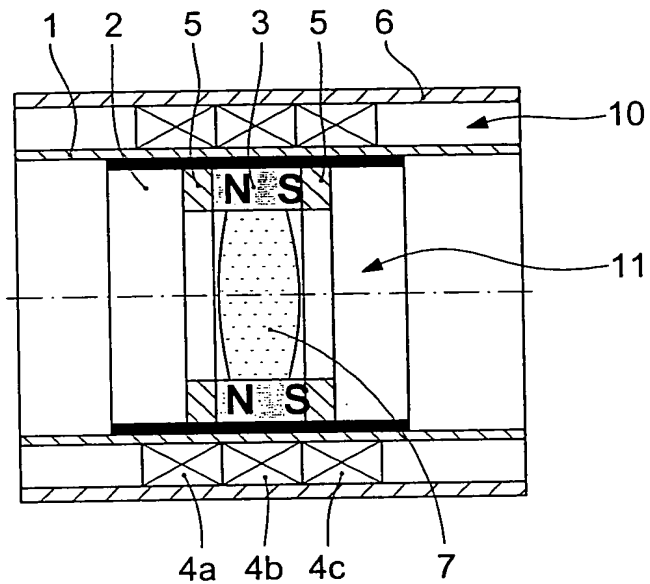


Fig. 2

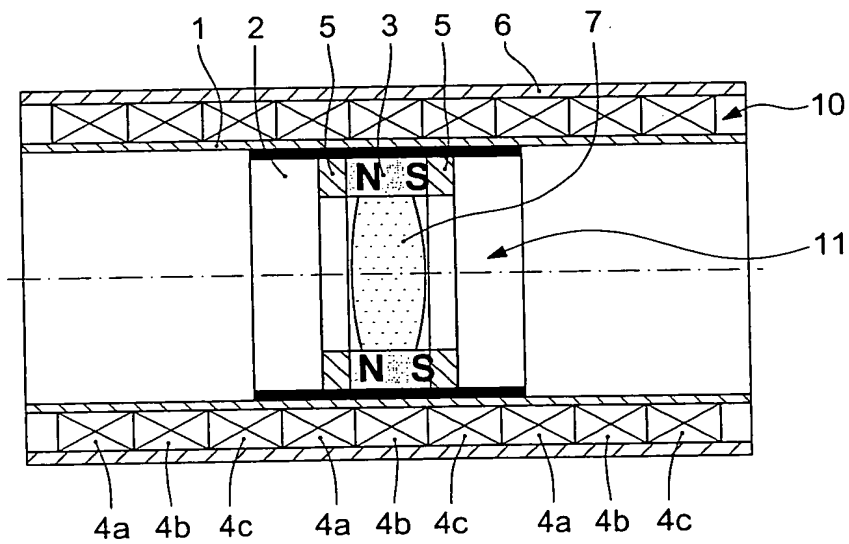


Fig. 3

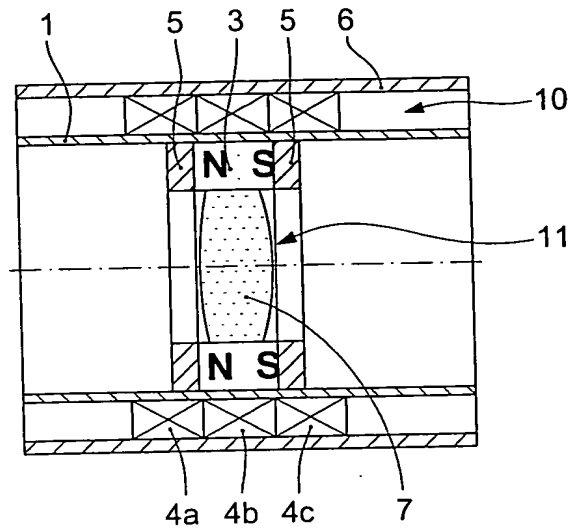


Fig. 4

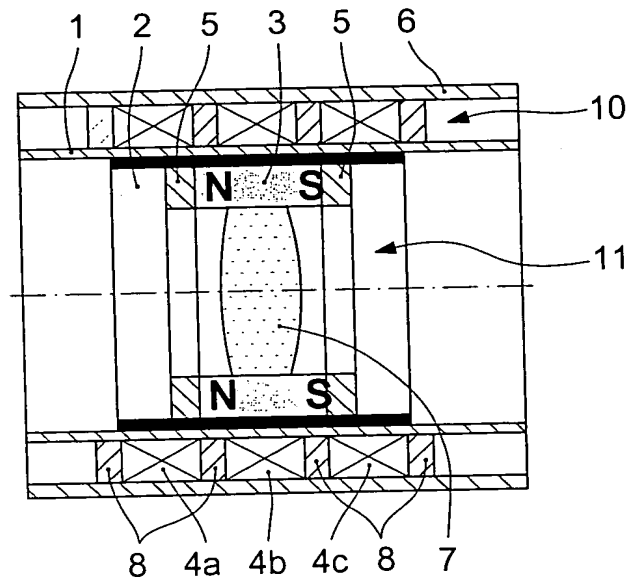


Fig. 5

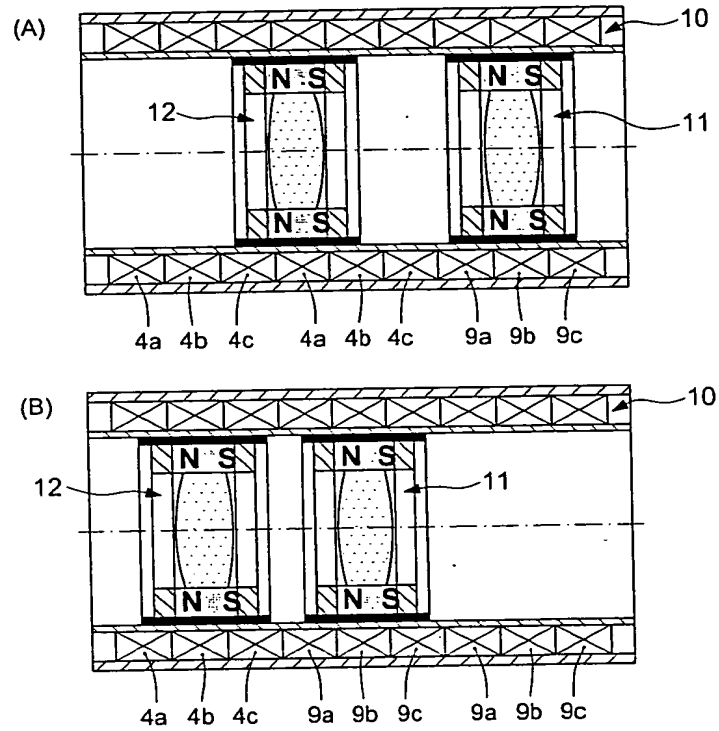


Fig. 6

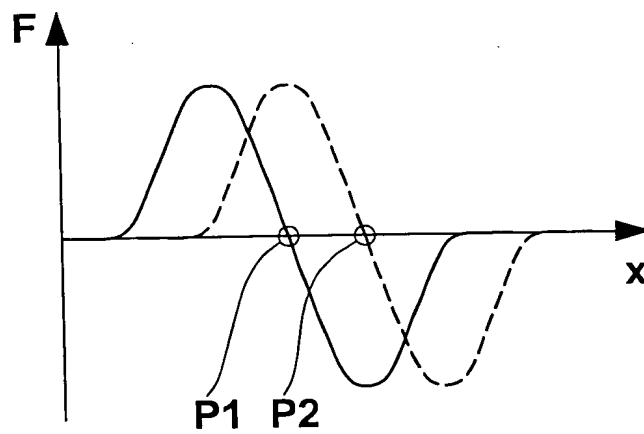


Fig. 7

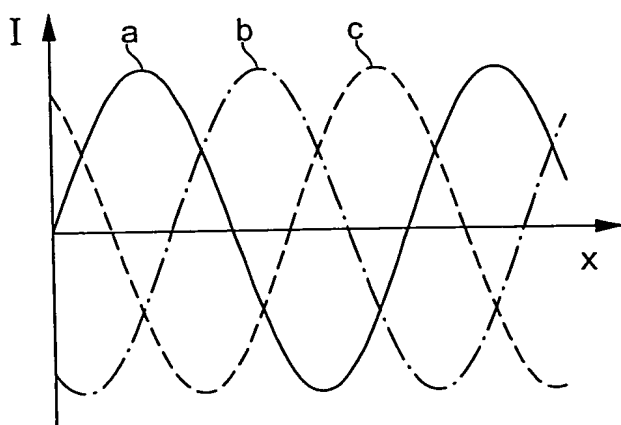


Fig. 8

